

Estudio de la curva de luz del cometa c/1999 s4 (linear)

Jorge Pérez Doval ⁽¹⁾, Oscar Alvarez Pomares ⁽²⁾, Ernesto R. Rodríguez Flores ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 No.2906, La Lisa, C. Habana, CP 11600, Cuba.

⁽²⁾ Dirección de Ciencia, CITMA

Recibido: enero-octubre, 2002	Aceptado: noviembre, 2002
-------------------------------	---------------------------

Resumen

Se determinó la curva de luz heliocéntrica del cometa C/1999 S4 (LINEAR) sobre la base de 333 observaciones visuales y 114 con CCD. Se destacan en ella 4 etapas correspondientes a diferentes cambios físico - químicos en el astro. El comportamiento de la mencionada curva de luz durante sus dos etapas finales, permite inferir que el proceso de pérdida de brillo como indicio de su futura desintegración comenzó mucho antes de ser esto detectado mediante las observaciones fotográficas con alta resolución.

Se analizaron por separados las observaciones visuales y las obtenidas con CCD hallándose que, las magnitudes o brillos aparentes, los diámetros de las comas y las longitudes de las colas son menores al ser medidas con el dispositivo electrónico. Estas diferencias deben tenerse en cuenta en futuros trabajos.

Palabras clave: Astronomía

Abstract

The heliocentric light curve of comet C/1999 S4 (LINEAR) was obtained. It consists in four stages related with different physical and chemical changes in the nucleus of the comet.

The visual and CCD observations were analyzed independently. As results, the total brightness, the diameter of comas and tails lengths measured with CCD was smaller.

Key words: Astronomy

Introducción

Entre los objetos astronómicos que en ocasiones despiertan un gran interés público, un lugar destacado lo ocupan los cometas y uno de los objetivos que debe cumplimentar el Departamento de Astronomía es la observación y estudio de esos astros.

Por otra parte, los cometas poseen un interés científico muy actual, pues son residuos de las sustancias de la que se formó el Sistema Solar y que se conservan en su estado original en la periferia del sistema, integrando la denominada nube de Oort. Además, en años recientes se han comenzado a descubrir objetos de tipo cometario en las inmediaciones y algo más allá de la órbita de Plutón, confirmando la existencia del "cinturón de Kuiper".

En Cuba existen antecedentes de investigaciones sobre cometas. En 1985-1986 se ejecutó un programa de mediciones astrométricas desde el Observatorio de Rancho Boyeros (Doval J. P. et al, 1988; Nikonov O., et al., 1989). También se han realizado trabajos estadísticos y de clasificación numérica sobre bases de datos de cometas y asteroides (Rodríguez E. R.; Doval J. P., 1996).

Durante el último lustro se presentaron dos cometas muy notables: el C/1995 O1 (Hale-Boop) y el C/1996 B2 (Hyakutake). En ambos casos los especialistas y aficionados cubanos participaron activamente en las observaciones. Estos datos combinados con los datos extranjeros permitieron analizar la curva de luz de tales astros (Doval J. P., et al, 1998); (Alvarez O., et al, 1998).

El objetivo del presente trabajo es estudiar la curva de luz del cometa C/1999 S4 (LINEAR), descubierto en octubre de 1999 y que de acuerdo a sus primeras observaciones prometía ser un objeto moderadamente brillante con cierto impacto público.

Materiales y métodos

Se analizaron 447 observaciones del cometa realizadas en el extranjero desde el 31 de octubre de 1999 hasta el 14 de agosto del 2000. De ellas 333 corresponden a observaciones visuales, hechas con telescopios o binoculares por observadores internacionales y 114 realizadas mediante cámaras electrónicas CCD. Estas observaciones fueron tomadas de la página WEB del Buró de telegramas de la UAI, cuyo URL es <http://cfa-www.harvard.edu/iau/icq/CometMags.html>.

Los valores obtenidos a través de telescopios con objetivos superiores a 8 cm fueron reducidos a la apertura común de 6,8 cm mediante las fórmulas de Bobrovnikoff - Morris (Bortle J. E., 1984).

Las observaciones cubanas, pocas en esta ocasión a causa de la débil magnitud del objeto y los cielos nublados, se realizaron por los métodos de Bobrovnikoff y Morris (Edberg S. J.; Ferrín Y., 1985) con binoculares y un telescopio de 60 mm. Estas observaciones se analizan más adelante.

La base de datos se complementó con la determinación de las magnitudes heliocéntricas, a cuyo efecto se calcularon las efemérides del cometa con el programa APC Cometas (Montenbruck, Pflieger, 1994). Las comas y las colas se midieron por comparación con posiciones de estrellas o con el campo del instrumento.

Resultados y discusión

El cometa C/1999 S4 (LINEAR) fue descubierto a fines de octubre de 1999 por el "Lincoln Near Earth Asteroid Research" (LINEAR), centro dedicado a la búsqueda y seguimiento de objetos potencialmente peligrosos para la Tierra. Al inicio parecía tratarse de un nuevo asteroide, pero pronto las observaciones revelaron su carácter cometario, al detectársele una incipiente coma.

La órbita inicial calculada por el Buró de Telegramas de la UAI, sobre la base de las primeras observaciones (asumiendo una curva parabólica), indicaban que estábamos en presencia de un cometa con una trayectoria muy favorable para ser observado desde el hemisferio Norte de la Tierra. El Linear S4 cruzaría por el perihelio el 26 de julio a unos 114 millones de km del Sol y 3 días antes se acercaría a sólo 55,8 millones de km de la Tierra. Se pronosticaba que el cometa podría llegar a alcanzar la magnitud +3 y en ese caso ser considerado como un astro moderadamente brillante.

De inmediato se inició un intenso escrutinio del cometa por parte de astrónomos profesionales y aficionados. Sin embargo, el cometa defraudó las expectativas en cuanto a su brillo, aunque se convirtió en uno de los objetos más interesantes de los últimos años, hecho que se evidencia por el comportamiento de su curva de luz.

Análisis de las curvas de luz

Existen dos tipos de curvas de luz para un cometa: la geocéntrica y la heliocéntrica. La primera refleja el comportamiento del astro, según lo perciben los observadores terrestres. Además en esta ocasión se dispone de un número suficiente de mediciones con CCD, que posibiliten comparar las mediciones visuales con las electrónicas.

La figura 1 contiene las observaciones visuales a través de telescopios y binoculares desde el 30 de octubre al 5 de agosto del 2000. El máximo brillo se logra alrededor del perihelio, con una m1 de aproximadamente 6,0. Los dos aspectos más importantes a destacar son la gran dispersión de los datos y la abrupta caída final, sobre la que se tratará más adelante.

La curva Heliocéntrica

Las curvas geocéntricas no nos proporcionan mucha información sobre el comportamiento físico de estos astros, pues son muy dependientes de la distancia a la Tierra. Es necesario por tanto, recurrir a la curva de magnitudes heliocéntricas. Esta expresión se obtiene sustrayendo el término $5 \log D$ de la fórmula más utilizada (Meuss J., 1991), que es la siguiente:

$$m_v = m_0 + 2,5 k \log \Delta + 2,5 n \log r$$

Donde

m_v = magnitud visual;

D distancia a la Tierra en U.A.;

r = distancia al Sol en U.A.;

m_0 = magnitud absoluta del astro (supuestamente ubicado a 1 U.A. de la Tierra y a 1 U.A. del Sol). Por último k y n son coeficientes de crecimiento.

El brillo de un cometa con respecto a nuestro planeta crece por la ley de la reflexión (inversamente proporcional al cuadrado de la distancia), por lo que generalmente se asume a $k = 2$, aunque esto no siempre tiene que ser así (Doval J. P. et al, 1998). Por el contrario, con respecto al Sol puede tomar valores desde 0 e incluso negativos, hasta 50 ó más.

La curva de luz heliocéntrica analizada comprende desde su descubrimiento, el 31 de octubre de 1999 hasta el 15 de agosto del 2000. En ella se aprecian cuatro cambios de pendiente correspondientes a otras tantas etapas en la evolución del astro.

Un análisis detallado de la referida curva heliocéntrica ($m_0 + 2,5 n \log r$), nos permitió estudiar por separado cada una de estas etapas diferentes, correspondientes a cambios físicos sustanciales en el astro. Conocido el hecho de que existen diferencias entre los valores visuales y los del CCD, ambas series de datos se estudian separadamente y se comparan sus resultados.

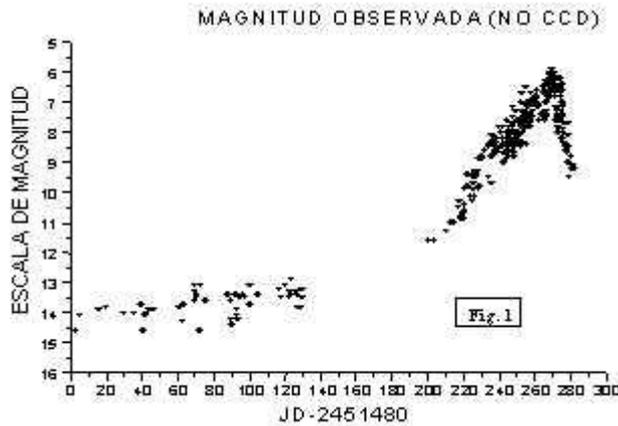


Fig. 1.- Magnitudes visuales geocéntricas desde el 31 - 10- 1999 al 5 - 08- 2000 (fechas en Días Julianos, JD)

El primer tramo abarca desde su descubrimiento en octubre 31,79 hasta que el cometa se acerca a su conjunción con el Sol y se torna invisible desde la Tierra. Las expresiones matemáticas que definen este sector son:

	N	r
VIS (Fig. 2) - oct 31,79-mar 6,78 = $8,8 \pm 0,4 + 5 \log D + 4,4 \pm 0,9 \log r$	55	0,561
CCD - dic 3,58-mar 22,78 = $9,7 \pm 0,4 + 5 \log D + 5,9 \pm 0,8 \log r$	47	0.746

Donde: N= número de datos r= coeficiente de correlación VIS=visual

A pesar de tratarse de un cometa "dinámicamente nuevo" procedente de la nube de Oort, según se infiere de su excentricidad hiperbólica, la ley del crecimiento del brillo que indican estas fórmulas ($2,5n = 4,4$ ó $5,9$) es casi la correspondiente a la de un cuerpo que brilla por simple reflexión, es decir, el Sol no estaba ejerciendo una influencia importante sobre los volátiles del Linear S4.

El segundo sector comprende el período desde que se recupera el cometa hasta junio 29,99 cuando ya se ha acercado hasta 0,92 U.A. del Sol y está en pleno proceso la sublimación del agua.

Las expresiones son:

	N	r
VIS (Fig. 3) - may 15,60-junio 29,99 = $7,9 \pm 0,1 + 5 \log D + 7,5 \pm 0,9 \log r$	71	0.698
CCD -may 4,78-junio 29,99 = $8,5 \pm 0,1 + 5 \log D + 6,9 \pm 1,4 \log r$	24	0.721

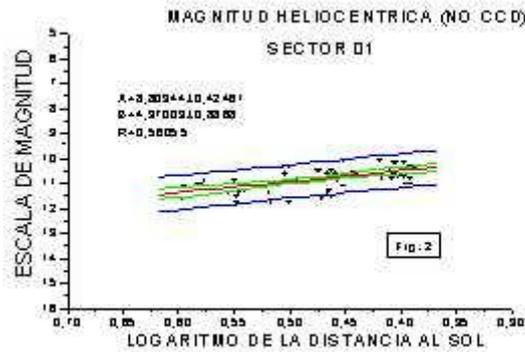


Fig. 2.- Magnitudes heliocéntricas visuales de la primera etapa - oct. 31/1999 a mar. 6/2000.

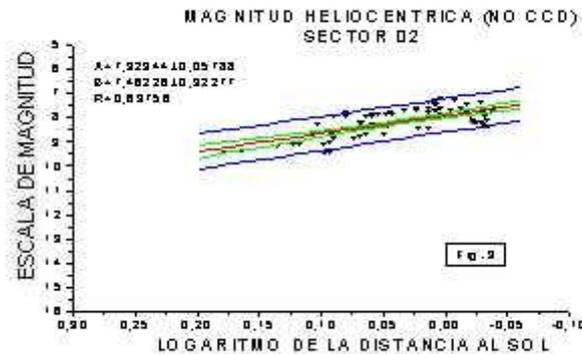


Fig. 3.- Magnitudes heliocéntricas visuales de la segunda etapa - may. 15/2000 a jun. 29/2000.

Este sector permite definir mejor la magnitud absoluta (7,9 - 8,5), valor que corresponde a un cometa unas dos magnitudes más débil que la media de los cometas nuevos (que es de 6,5). La pendiente de crecimiento en esta etapa se corresponde con la de un astro, donde predominan la sublimación del OH y la liberación del polvo.

A partir de junio 30 del 2000, cuando el cometa se halla a 0,90 U.A. del Sol y a 1 U.A. de la Tierra se inicia un inesperado y gradual cambio en las condiciones físicas del astro. A pesar de que aún dista 26 días del perihelio y 23 días del perigeo, la actividad del Linear S4 comienza a decaer, lo que permite definir un tercer tramo o sector de la curva de luz. Al mismo tiempo aumenta la dispersión de los datos que brindan los observadores. Las expresiones de la curva de luz de esta etapa son:

	N	r
VIS (Fig. 4) - jun 30,08-julio 20,23 = $7,7 \pm 0,2 + 5 \log D - 7,8 \pm 2,0 \log r$	90	-0.392
CCD -jun 30,08-julio 14,12 = $8,6 \pm 0,6 + 5 \log D + 4,8 \pm 6,4 \log r$	14	-0.210

Como se aprecia en la fórmula, la pendiente negativa -7,8 para las visuales, indica que el Linear S4 intrínsecamente está perdiendo brillo con una razón directamente proporcional al cuadrado o al cubo de la distancia, pese a que aparentemente continúa aumentando su brillo al acercarse a la Tierra. En este caso, las observaciones con CCD son muy pocas.

Por tanto, de la curva de luz inferimos que la pérdida de actividad del cometa comenzó mucho antes de lo hasta ahora supuesto. Ya a mediados de junio, las observaciones espectrográficas indicaban grandes oscilaciones en la producción de gas, con una disminución de un 10% del 10 al 12 de junio (Green D. W., 2000).

A mediados de julio se inicia una dramática caída en el brillo intrínseco del cometa, que no es percibida por los observadores terrestres hasta después del perihelio el 26 de julio. Esta caída se corresponde con la aparente desintegración del cometa, informada por el Observatorio de Canarias y confirmada por el telescopio espacial Hubble.

Las expresiones obtenidas para este sector 4 de la curva, fueron:

	N	r
VIS (Fig. 5) - jul 20,23-ago 6 = $-2,5 \pm 1,6 + 5 \log D - 100,3 \pm 13,3 \log r$	116	-0.577
CCD -jul 14,13-ago 15 = $-4,9 \pm 1,6 + 5 \log D - 122,3 \pm 13,3 \log r$	29	-0.871

La caída se corresponde con las potencias 20 ó 25 e indica una desintegración total del cometa, a tal punto que el día 15 de agosto un observador dotado de un CCD informó no haber detectado rastros del cometa a pesar de que su equipo le permitía alcanzar la magnitud 15.

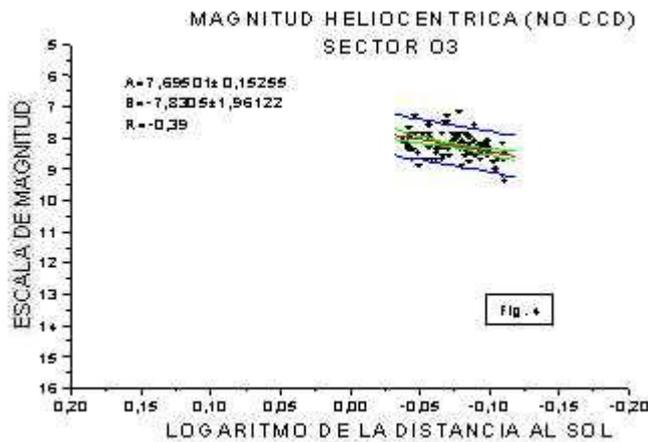


Fig. 4.- Magnitudes heliocéntricas visuales de la tercera etapa - jun. 30/2000 a jul. 20/2000.

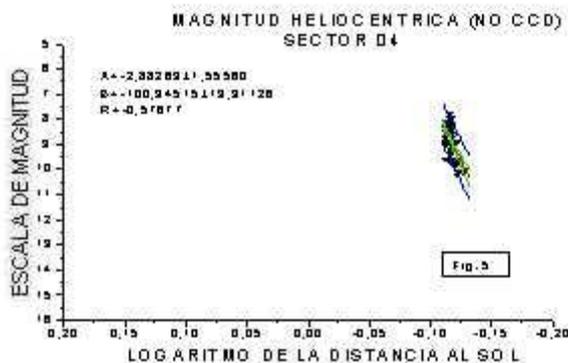


Fig. 5.- Magnitudes heliocéntricas visuales de la cuarta etapa - jul. 20/2000 a ago. 06/2000

Aparentemente la ruptura del núcleo del cometa comenzó alrededor del perigeo el 23 de julio. Las fotos tomadas desde ese día y hasta el 27 con el Jacobus Kapteyn Telescope de Canarias, muestran la elongación de la coma y ya en agosto 1,9 U.T. no se hallaron evidencias de núcleos o subnúcleos, según revelan las observaciones con el telescopio Isaac Newton (Green D. W., 2000).

En esta ocasión las observaciones cubanas fueron escasas. Pese a realizarse unos 15 intentos, sólo se obtuvieron 7 efectivas.

La expresión obtenida con las observaciones cubanas fue la siguiente:

$$\text{jun 18-jul 6 } 8,5 \pm 0,2 + 5 \log D + 1,3 \pm 3,1 \log r$$

No es posible comparar esta curva con las anteriores, pues los períodos considerados son diferentes; pero la magnitud absoluta (8,5) se corresponde con la obtenida con los datos reportados por los observadores extranjeros.

La carencia de un equipo CCD y los cielos nublados durante casi todas las noches de julio impidieron a los observadores cubanos obtener mejores resultados.

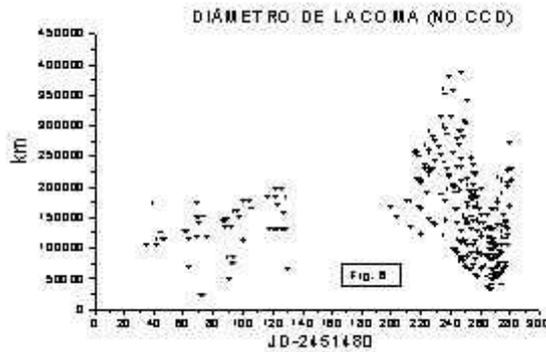


Fig. 6.- Longitudes visuales de la coma desde el 30 - 10 - 1999 al 5 - 08 - 2000 (fechas en Días Julianos, JD)

Diámetro de la coma y longitud de la cola

Los diámetros de la coma medidos en minutos de arco nos brindan las equivalencias en kilómetros, obtenidos mediante la expresión:

$$D_{km} = 725,28 \times D \times d \times 60;$$

donde d es el diámetro observado en minutos de arco

Durante el período inicial de octubre a marzo del 2000 el diámetro va creciendo desde unos 100 000 hasta 160 000 km. A comienzos de junio del 2000 se puede estimar en unos 250 000 km si promediamos las mediciones que muestran una gran dispersión (Fig. 6).

Después de esa fecha se aprecia un continuo decrecimiento hasta llegar a -100 000 km a fines de julio. Esto último se corresponde con la conocida contracción de la coma que experimentan los cometas al acercarse al Sol, pero también puede asociarse a la desintegración del Linear S4.

La extensión de la cola se calculó según las expresiones:

$$L = \frac{\Delta \text{ sen } (LAC)}{[\text{cos } (90^\circ + LAC - \beta)]}$$

Siendo

$$\text{cos } \beta = \frac{(\Delta^2 + R^2 + 1)}{2\Delta R}$$

Donde D y r son las distancias a la Tierra y al Sol en Unidades Astronómicas y LAC la longitud observada en grados.

Como sucede con los parámetros anteriormente analizados, en este caso se nota también una gran dispersión (Fig. 6), que por otra parte es usual en este tipo de observaciones. Sin embargo, los valores más altos registrados,

0,015 U.A. se corresponden con una cola de poco más de 2 millones de km, valor muy inferior al que se había pronosticado.

Los valores de las comas medidas con los CCD son algo inferiores a los que se derivan de las observaciones visuales. El diámetro máximo se observa alrededor del 15 de junio, después de lo cual se inicia una rápida caída, para concluir con un diámetro de sólo 50 000 km.

Los tamaños máximos de las colas registradas con los CCD son del orden de 0,004 U.A. (600000 km), o sea 4 veces menores que las medidas visualmente.

Conclusiones

Sobre la base de 333 observaciones visuales y 114 con CCD del cometa C/1999 S4 (LINEAR), se construyó su curva de luz heliocéntrica. En ella se aprecian 4 sectores principales correspondientes a otras tantas etapas en las características físicas del citado astro.

Estas etapas pueden inferirse como: acercamiento con un aumento del brillo sólo por reflexión; incremento posterior al traspasar el límite de 1,4 U.A. y comenzar la sublimación del agua; inicio de una caída progresiva antes de llegar al perigeo y al perihelio y una cuarta etapa final de desintegración con su probable extinción.

La magnitud intrínseca del cometa al entrar en la región interna del sistema solar obtenida a través del análisis del segundo sector de la curva de luz (7,9), se corresponde con la de un objeto de tamaño algo inferior a la media de los cometas nuevos.

El comportamiento de la curva de luz heliocéntrica de este cometa, permite inferir que el proceso de pérdida de brillo como indicio de su futura desintegración, comenzó mucho antes de que este hecho fuera confirmado por las observaciones con alta resolución.

Se analizaron por separado las observaciones visuales y con CCD, determinándose que con estas últimas se obtienen magnitudes de 0,6 a 1,0 menores que con las primeras. También los diámetros de las comas y las longitudes de las colas medidas con los CCD resultan menores que las visuales, diferencias que deberán tenerse en cuenta en futuros análisis.

El comportamiento de la curva de luz de este cometa y las observaciones de alta resolución realizadas desde el espacio, han revitalizado la hipótesis del "banco de cascajo" para el núcleo de los cometas, o bien que están constituidos por grandes bloques débilmente unidos.

La actividad desarrollada por el Departamento sobre este cometa contribuyó a cumplimentar nuestros objetivos de colaboración, asesoría a los aficionados e información a la población.

Referencias

- Alvarez O., Pérez J., Rodríguez E., Cepero T., Díaz A., García J. (1998): Fotometría visual del cometa C/1995 O1 (Hale-Bopp), Memorias del IV Congreso Cubano de Geología y Minería, Geoinfo 98, Parte II, p. 8-11.
- Bortle J. E. (1984): Sky and Telescope, enero, p. 9-12.
- Doval J. P., Nikonov O., Zhilinski, E., Kulish A., Tolbin C., Fariñas R., Cid M. (1988): Observaciones del cometa Halley en Cuba, Izvestia GAO, No. 205, p. 69-73.
- Doval J. P., Rodríguez E., Alvarez O., Cepero T., Díaz A., García J. (1998): Estudio de la curva de luz del cometa C/1996 B2 (Hyakutake), Memorias del IV Congreso Cubano de Geología y Minería, Geoinfo 98, Parte II, p. 163-166.
- Edberg S. J. y Ferrín Y. (1985): Manual para la Observación de Cometas, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Green D. W. (2000): Circulares 7455 y 7472 del Central Bureau for Astronomical Telegrams, Cambridge.
- Meuss J. (1991): Astronomical Algorithms, Willmann - Bell Inc, EUA, 430 p.
- Montenbruck, Pfleger (1994): APC Cometas (software).
- Nikonov O., Doval J. P., Zhilinski, E., Kulish A., Tolbin C., Fariñas R., Cid M. (1989): Algunas peculiaridades estructurales de la cola del cometa Halley de acuerdo con las observaciones en Cuba, Astronomicheski Vestnik Nauka, T. 23, No. 4, p. 324.
- Rodríguez E. R., Doval J. P., (1996): Determinación de grupos o subfamilias de cometas y asteroides, Memorias de las Primeras Jornadas Latinoamericanas de Cometas, Buenos Aires, p. 16-24.